

(9)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer:

0 290 947  
A1

(AN)

(2)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21)

Anmeldenummer: 88107175.7

(51)

Int. Cl.<sup>4</sup> B01D 53/36 , B01J 23/00 ,  
B01J 27/18

(22)

Anmeldetag: 04.05.88

(30)

Priorität: 12.05.87 DE 3715746  
15.02.88 DE 3804723

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.11.88 Patentblatt 88/46

(54)

Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE

(71)

Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft Berlin  
und München  
Wittelsbacherplatz 2  
D-8000 München 2(DE)

(72)

Erfinder: Wittrowsky, Günter  
Humboldtstrasse 17  
D-8520 Erlangen(DE)  
Erfinder: Schott, Manfred  
Wehneltstrasse 3  
D-8520 Erlangen(DE)  
Erfinder: Sprehe, Josef, Dipl.-Ing.  
Quittenweg 32a  
D-8510 Fürth/Vach(DE)  
Erfinder: Brückner, Belinda, Dipl.-Chem.  
Schulstrasse 5a  
D-8503 Altdorf(DE)

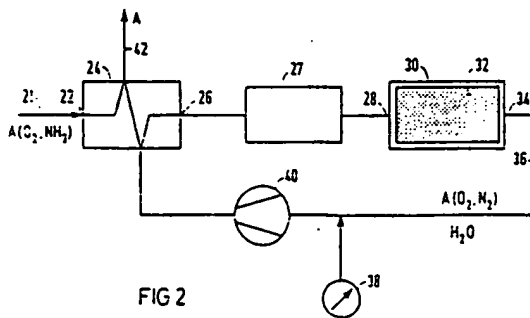
(56)

Katalytische Beseitigung von Ammoniak aus Abgasen.

(57)

Das  $\text{NH}_3$ -Oxydationsverfahren arbeitet mit einem Katalysator (6, 32), der neben Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) vorzugsweise eins oder mehrere der Übergangsmetalloxide Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Manganoxid ( $\text{MnO}_2$ ) und Kupferoxid ( $\text{CuO}$ ) enthält. Der Katalysator (6, 32) oxydiert das Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) zu ungefährlichen Folgeprodukten, nämlich zu Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Es werden Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens sowohl für heiße als auch für kalte Abgase (A) ebenso wie Methoden zur Herstellung des Katalysators (6, 32) beschrieben.

EP 0 290 947 A1



Xerox Copy Centre

## Katalytische Beseitigung von Ammoniak aus Abgasen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Entfernen von gasförmigem Ammoniak aus einem Abgas sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Sie bezieht sich weiterhin auf einen selektiven Katalysator zum Oxidieren von im Abgas enthaltenem Ammoniak unter Mitwirkung von Sauerstoff zu Stickstoff und Wasser sowie auf ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Katalysators.

Manche industrielle Abgase enthalten gasförmiges Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Dies gilt beispielsweise für die Abluft bei einem Kernkraftwerk, wo das Ammoniak z. B. aus der Umsetzung des für den Korrosionsschutz verwendeten Hydrazins herrührt, wo es in Abwasser abgeschieden wird, und wo bei Anwendung des sogenannten Stripp-Verfahrens, eines Reinigungsverfahrens, die mit Ammoniak beladene Abluft entsteht. Dies gilt aber auch z. B. für die Abgase aus Kohlekraftwerken, bei denen ein Katalysatormaterial zur Reduktion von Stickoxiden im Rauchgas, dem absichtlich Ammoniak beigelegt wird, eingesetzt wird (vergl. DE-OS 35 31 809 -VPA 85 P 6092 DE); trotz ausgefeilter Regelungstechniken kann es bei einem Reaktor mit einem solchen Katalysatormaterial zu keiner vollständigen chemischen Umsetzung und somit zu einem Überschuß an Ammoniak kommen, das dann unerwünschterweise im Abgas enthalten ist. Das Problem der Beseitigung von Ammoniak aus Abgasen stellt sich also in der Technik in vielfältiger Form. Bekanntermaßen hat die Ammoniakemission zumindest in höheren Konzentrationen Umweltschäden zur Folge.

Bisher wurde das Problem der Ammoniak-Gasreinigung durch unterschiedliche Verfahren gelöst:

a) Es wurde eine Gaswäsche in einem (Schwefel-)Säurebad vorgenommen; nachteilig hierbei ist, daß Ammoniumsalze als Abfallprodukte anfallen.

Dieses Salz ist jedoch nur bedingt als Düngemittel einsetzbar. Besonders dann, falls das bekannte Verfahren zum Entfernen von Ammoniak sehr häufig angewendet wird, ist die anfallende Ammoniumsulfatmenge nicht mehr vollständig verwertbar. Außerdem ist Ammoniumsulfat als Düngesalz für viele Böden ungeeignet.

Bei der Reinigung von ammoniakhaltigem Abwasser, das aus dem Kontrollbereich von Kernkraftwerken stammt, ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da anzunehmen ist, daß das entstehende Ammoniumsulfat überhaupt nicht weiter verwendet werden darf. Die dann notwendige, weitere Aufbereitung zu einem lagerfähigen Produkt verursacht hohe Kosten und benötigt Lagerraum.

b) Liegt das Ammoniak in wäßriger Phase vor, so wurden gelegentlich auch biotechnologische Verfahren eingesetzt; die Oxidation des Ammoniak führt hierbei jedoch zu  $\text{NO}_3^-$  oder zu unerwünschtem Stickoxid  $\text{N}_2\text{O}$ .

c) Es wurden Platinkatalysatoren bei höherer Temperatur eingesetzt; dies führte wiederum überwiegend zu einer Oxidation des Ammoniaks zu Stickoxiden  $\text{NO}_x$ , welche ebenfalls unerwünscht sind.

d) Bei weiteren bekannten Verfahren zum Entfernen von Ammoniak aus Abwasser wird das Ammoniak als eine konzentrierte Lösung zurückgewonnen, wobei die Aufkonzentrierung mit Stoffaustauschkolonnen durch Rektifikation oder durch Wasserdampfstrippen erfolgt. Sehr nachteilig bei diesem Verfahren ist der hohe Energieverbrauch.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Entfernen von gasförmigem Ammoniak aus einem Abgas anzugeben, das auf katalytischem Wege zu umweltverträglichen Folgeprodukten, und nur zu solchen, führt. Weiterhin soll eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens angegeben werden. Darüber hinaus soll auch ein selektiver Katalysator der eingangs genannten Art angegeben werden, der eine gute Umwandlungsrate gewährleistet. Schließlich soll auch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Katalysators beschrieben werden.

Die genannte Aufgabe wird bei einem Verfahren zum Entfernen von gasförmigem Ammoniak aus einem Abgas erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Abgas mit dem gasförmigen Ammoniak und vorzugsweise zusammen mit Sauerstoff, insbesondere zusammen mit Luft, in einem vorgegebenen Temperaturbereich einem selektiven Katalysator zugeführt wird, der das Ammoniak zu Stickstoff und Wasser oxidiert, wobei der Katalysator ein Mischoxid-Katalysator ist, der Titandioxid und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Zirkon, Molybdän, Wolfram, Platin und Rhodium enthält, und daß vom Katalysator der Stickstoff und das Wasser abgeleitet werden. Der für die Oxidation im Katalysator u. U. benötigte Sauerstoff kann dabei bereits im Abgas enthalten sein; er kann aber auch besonders hinzugesetzt werden. In  $\text{O}_2$ -freien Gasen ist überraschenderweise eine Zersetzung von  $\text{NH}_3$  in  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  möglich, wie Experimente ergeben haben. Diese Zersetzung tritt dabei schon bei relativ niedrigen Temperaturen ein, z. B. unterhalb von  $300^\circ \text{C}$ .

Man kann somit sagen, daß das Problem der Ammoniak-Beseitigung aus einem Abgas vorlie-

gend durch eine selektive katalytische Oxidation an einem speziellen Mischoxid-Katalysator gelöst wird. Dieses Verfahren könnte man - in Anlehnung an den Sprachgebrauch beim bekannten selektiven katalytischen Reduktionsverfahren ("SCR-Verfahren", vergl. DE-OS 35 31 809) - als "selektives katalytisches Oxidations-Verfahren" ("SCO-Verfahren") bezeichnen.

Bevorzugt wird so vorgegangen, daß der Katalysator außer Titandioxid auch Chromoxid enthält. Diese Kombination hat besonders gute Ergebnisse hinsichtlich der Umsetzung von Ammoniak gebracht. Gute Ergebnisse werden aber auch erzielt, wenn dem Titandioxid Manganoxid oder Kupferoxid beigemischt sind. Auch Beimischungen von zwei der drei genannten Oxide der Übergangsmetalle Chrom, Mangan und Kupfer zum Titandioxid liefern gute Ergebnisse. Dies gilt auch für eine Beimischung aller drei Oxide des Chroms, Mangans und Kupfers zum Titandioxid. Letzteres wird bevorzugt in der unter dem Namen "Anatas" bekannten kristallinen Modifikation eingesetzt. Zur Lebensdauerverlängerung wird bevorzugt  $\text{WO}_3$  und/oder  $\text{MoO}_3$  eingesetzt, d. h. in den Katalysator eingebracht. Mit diesen Komponenten wird die spezifische Oberfläche des Katalysatormaterials stabilisiert.

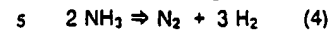
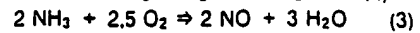
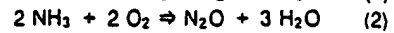
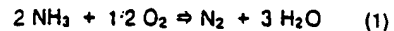
Zur mengenmäßigen Bemessung der einzelnen Bestandteile des Katalysators ist folgendes zu sagen: Es wird bevorzugt so vorgegangen, daß der Anteil des Chromoxids ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), des Manganoxids ( $\text{MnO}_2$ ) oder des Kupferoxids ( $\text{CuO}$ ) höchstens 50 Gew. % des Mischoxid-Katalysators ausmacht. Eine Verteilung von etwa 50 Gew. % Titandioxid zu 50 % Übergangsmetall-Oxid(e) kann für viele Anwendungsfälle angemessen sein. Denn es hat sich überraschenderweise gezeigt, daß eine Verteilung von 50 Gew. % Titandioxid zu 50 Gew. % Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) aktiver ist als ein Verhältnis von 80 Gew. % zu 20 Gew. % derselben Substanzen.

Um eine hohe Umsatzrate von Ammoniak in die umweltverträglichen Folgeprodukte Stickstoff und Wasser bei dem genannten Katalysator zu erhalten, ist weiter vorgesehen, daß das Abgas einschließlich Ammoniak und gegebenenfalls Sauerstoff vor der Zuführung zum Katalysator bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich von 150 bis 300° C gebracht wird. Den gleichen Erfolg erzielt man auch, wenn im Mischoxid-Katalysator eine höhere Temperatur vorliegt, so daß sich das Abgas dort erwärmen kann.

Bei hohen Eingangskonzentrationen an Ammoniak wird durch die freigesetzte Reaktionswärme am Katalysator nur noch ein "Anfahraufheizen" notwendig. Eine Wärmezufuhr ist nicht mehr nötig; eventuell kann die freiwerdende Reaktionswärme genutzt werden.

Die katalytische Oxidation von Ammoniak kann durch folgende Reaktionsgleichungen beschrieben

werden:



Es ist festzuhalten: Der genannte Katalysator oxidiert Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) im Temperaturbereich von 150° C bis 300° C hochselektiv zu Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) nach der angegebenen Gleichung (1). Eine Oxidation zu den Stickoxiden  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{NO}$  gemäß den Gleichungen (2) bzw. (3) findet im genannten Temperaturbereich praktisch nicht statt. Es ist nach Gleichung (4) auch möglich, ohne Sauerstoff  $\text{NH}_3$  direkt zu Stickstoff und Wasserstoff umzusetzen, und zwar bei relativ niedrigen Temperaturen.

Der genannte Katalysator ist also bei relativ niedrigen Temperaturen katalytisch aktiv. Damit werden die Kosten für das Verfahren zur Beseitigung von Ammoniak aus Abgas gegenüber dem bekannten Verfahren mit Einsatz eines Platinkatalysators, bei dem der Gasstrom auf eine sehr hohe Temperatur aufgeheizt werden muß, erheblich reduziert.

Als weiterer Vorteil ist zu verzeichnen, daß der katalytisch aktive Kontaktbereich des Katalysators hochaktiv ist. Damit läßt sich die insgesamt einzusetzende Katalysatormasse klein halten, was die Anforderungen an den Unterbringungsraum ebenfalls klein hält.

Der für das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzte Katalysator ist beispielsweise ein Mischoxid-Katalysator, der in einem Temperaturbereich von 200 - 500° C arbeitet. Die Reaktion zwischen Ammoniak und Sauerstoff läßt dabei direkt Stickstoff und Wasser oder als Zwischenstufe Stickoxid und Wasser entstehen. Stickoxid reagiert aber noch im Katalysator mit überschüssigem Ammoniak ebenfalls zu Stickstoff und Wasser. Zum Erreichen der Reaktionstemperatur wird das dem Katalysator zugeführte Gas erhitzt. Als weitere Möglichkeit kann dem Mischoxid-Katalysator außer ammoniakhaltigem Gas und Sauerstoff oder Luft Stickoxid zugeleitet werden.

Nach einem weiteren Beispiel wird ein Gemisch aus ammoniakhaltigem Gas und Sauerstoff, insbesondere ammoniakhaltigem Gas und Luft, zunächst aufgeteilt. Der erste Anteil des Gemisches wird einem Edelmetall-Katalysator zugeführt, der Stickoxid abgibt. Der zweite Anteil des Gemisches wird gemeinsam mit dem im Edelmetall Katalysator gebildeten Stickoxid als Gemisch einem Mischoxid-Katalysator zugeführt. Dieser gibt dann Stickstoff und Wasser ab.

Hiermit wird erzielt, daß die beiden Katalysatortypen sich gegenseitig ergänzend, arbeiten. Das benötigte Stickoxid wird aus Ammoniak und Sauerstoff im Edelmetall-Katalysator gebildet.

Ein optimales Zusammenwirken der beiden Ka-

talysatoren wird erzielt, wenn der erste Anteil des zugeführten Gases, der durch den Edelmetall-Katalysator geleitet wird, ca. 60 % der Gesamtgasmenge ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorteilhaft zum Entfernen von Ammoniak aus dem Abwasser eines Kraftwerkes einsetzbar. Ammoniak gelangt in das Abwasser von Kraftwerken durch die thermische Zersetzung von Hydrazin, das zur Verhinderung von Korrosion an Leitungen, Armaturen und Komponenten dem Wasser-Dampfkreislauf zudosiert wird.

Die genannte Aufgabe bezüglich des selektiven Katalysators der eingangs genannten Art wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß er ein Mischoxid-Katalysator ist, der Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle Vanadium (V), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Zirkon (Zr), Molybdän (Mo), Wolfram (W), Platin (Pt) und Rhodium (Rh) enthält. Bevorzugt ist aber auch hier wieder eine Ausführungsform mit einer Beimengung eines oder mehrerer Oxide der drei Übergangsmetalle Chrom, Mangan und/oder Kupfer zum Titandioxid. Als Vorteil ist zu verzeichnen, daß die Reaktionen nach den Gleichungen (1) und (4) bei Verwendung eines solchen Katalysators in einem besonders großen Temperaturbereich abläuft. Deswegen arbeitet der Katalysator besonders stabil, d. h. er ist relativ unempfindlich bei Schwankungen der  $\text{NH}_3$ -Eingangskonzentration.

Es soll noch einmal festgehalten werden: Der Katalysator besteht zu einem erheblichen Gewichtsanteil, der 50 % betragen kann, aus Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), bevorzugt in der kristallinen Anatasform. Diese kristalline Form hat beispielsweise eine höhere BET-Oberfläche als Rutil, eine andere Modifikation des Titanoxids. Als katalytisch aktive Komponenten werden Verbindungen und/oder Oxide oder sogar Mischoxide der Übergangsmetalle V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, W, Pt und Rh eingesetzt.

Der Katalysator kann weiterhin Nebenbestandteile, wie z. B. Phosphor oder Schwefel, enthalten. Das Phosphor kann während des Herstellungsprozesses beispielsweise in Form eines Oxids von Phosphorsäure oder eines Phosphats beigegeben werden. Es hat sich gezeigt, daß durch eine solche Beigabe von Phosphor-Verbindungen die Festigkeit des fertigen Katalysators erhöht werden kann. Der Schwefel, der zu einer Erhöhung der katalytischen Wirkung führen kann, kann während des Herstellungsverfahrens in Form von Schwefelsäure, aus der sich ein Sulfat abscheidet, oder als reines Sulfat beigegeben werden. Darüber hinaus ist es möglich, daß der Katalysator in seiner fertigen Form ein Bindemittel in anorganischer oder organischer Form enthält. Solche Bindemittel sind beispiels-

weise aus den Herstellungsprozessen bei dem bekannten SCR-Verfahren bekannt. Sie können als Gleitmittel beim Extrudieren von Vorteil sein. Außerdem hat sich gezeigt, daß solche Bindemittel beim Calcinieren herausbrennen und dabei das spezifische Porenvolumen des fertigen Katalysators erhöhen.

Das Verfahren zur Herstellung eines Katalysators der genannten Art zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus,

a) daß Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle wie insbesondere Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Manganoxid ( $\text{MnO}_2$ ) und Kupferoxid ( $\text{CuO}$ ) gemahlen und innig miteinander zu einer Mischung gemischt werden,

b) daß diese Mischung anschließend gefiltert wird, wobei ein Filterkuchen zurückbleibt,

c) daß dem Filterkuchen ein Bindemittel beigegeben wird,

d) daß Filterkuchen und Bindemittel geknetet werden, wobei eine formbare Masse entsteht,

e) daß diese Masse sodann in eine vorgegebene Form gebracht wird, z. B. auf Platten aufgetragen, in Waben oder Pellets extrudiert wird,

f) daß die geformte Masse sodann einer Trocknungsbehandlung bei Temperaturen im Bereich von 100 bis 140° C unterzogen wird, und

g) daß schließlich die getrocknete, geformte Masse einer Glühbehandlung bei 500° C oder mehr ausgesetzt wird.

Insbesondere kann bei der Herstellung folgendermaßen vorgegangen werden: Die innige mechanische Mischung der Komponenten (Titandioxid und Übergangsmetall-Oxid, gegebenenfalls auch Nebenbestandteile oder Bindemittel) erfolgt in einem Dissolver oder in einer Rührwerksmühle. Diese hier erhaltene Mischung wird sodann mittels einer Filterpresse gefiltert, wobei der erwähnte Filterkuchen übrig bleibt. Diesem Filterkuchen wird gegebenenfalls das Bindemittel beigegeben. Anschließend wird in einem Knetter geknetet. Die fertige Masse wird sodann der Formgebung (Platte, Wabe, Pellets) unterzogen. Also kann beispielsweise die Katalysatormischung auf Metallplatten oder Drahtnetze aufgetragen werden, wobei letztere insbesondere aus Edelstahl bestehen können. Die Metallplatten können dabei mit Aluminium flammgespritzt sein. Die Mischung kann aber auch zu den erwähnten Waben extrudiert werden, wobei zuvor der Mischung ein Mittel zum Gleiten zugesetzt wird. Schließlich kann die Mischung auch zu zylindrischen Pellets extrudiert werden. Die so erhaltene Form (Platte, Wabe, Pellets) wird sodann der Trocknungsbehandlung, beispielsweise bei 120° C, und anschließend der Glühbehandlung, beispielsweise bei über 500° C, unterzogen. Bei dem letztgenannten Vorgang erfolgt die Endcalcinierung.

Die genannte Aufgabe bezüglich einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zum Entfernen von gasförmigem Ammoniak aus einem Abgas zeichnet sich nach einer ersten Ausführungsform erfindungsgemäß dadurch aus, daß das Abgas mit Hilfe eines Gebläses einem den Katalysator enthaltenden Reaktor zugeleitet ist, an dessen Austritt eine Ableitung für ammoniakfreies Abgas vorgesehen ist.

Nach einer zweiten Ausführungsform wird die genannte Aufgabe erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, daß das Abgas über einen Wärmetauscher und gegebenenfalls eine Zusatzheizung mit Hilfe eines Gebläses einem den Katalysator enthaltenden Reaktor zugeleitet ist, an dessen Austritt eine Ableitung für ammoniakfreies Abgas vorgesehen ist, die über den Wärmetauscher mit einer Abgasleitung verbunden ist.

Beispielsweise sind statt nur einem Katalysator ein Edelmetall-Katalysator und ein Mischoxid-Katalysator in Serie angeordnet. Der Edelmetall-Katalysator ist dabei durch eine Bypassleitung überbrückt, die ca. 40 % des ankommenden Gases aufnimmt. Bei einer derartigen Anordnung ergänzen sich die beiden unterschiedlichen Katalysatoren bei der Entfernung von Ammoniak.

Eine Vorrichtung zum Entfernen von Ammoniak aus einer ammoniakhaltigen Flüssigkeit, insbesondere aus dem Abwasser eines Kraftwerkes, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren weist eine an sich bekannte Stoffaustauschkolonne auf, die mit einer Zuleitung für die ammoniakhaltige Flüssigkeit verbunden ist. Die Austauschkolonne weist außerdem eine Gaszuleitung auf. Von der Austauschkolonne geht eine erste Ableitung für ammoniakfreies Wasser und eine zweite Ableitung für ammoniakhaltiges Gas aus. Die zweite Ableitung ist erfindungsgemäß über den wärmeaufnehmenden Raum eines Wärmetauschers und über einen Erhitzer mit dem Eingang eines Katalysators verbunden. Der Ausgang des Katalysators steht über den wärmeabgebenden Raum des Wärmetauschers und über ein Zirkulationsgebläse mit der Gaszuleitung der Austauschkolonne in Verbindung. Da der Sauerstoffverbrauch im Katalysator sehr gering ist, reicht es aus, einen kleinen Teilstrom des vorhandenen Luftvolumens kontinuierlich durch frische Luft zu ersetzen. Mit dieser Vorrichtung wird ein nahezu geschlossener Gaskreislauf gebildet. Nur ammoniakfreies Wasser wird abgeleitet. Die entstehenden Endprodukte Stickstoff und Wasser werden an die Atmosphäre bzw. an das ammoniakfreie Wasser abgegeben. Mit dem nahezu geschlossenen Gaskreislauf wird der Vorteil erzielt, daß dem System nur wenig Wärme zugeführt werden muß. Das anströmende Gas wird im Wärmetauscher durch das abströmende Gas vorgewärmt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist auch z.B. einsetzbar zum Entfernen von Ammoniak aus Gaswaschwässern, die beispielsweise bei der Müllverschweilung und in Kokereien anfallen. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind Deponiesickerwässer.

Mit der Erfindung wird auch der Vorteil erzielt, daß erstmals Ammoniak aus Gasgemischen oder Flüssigkeiten zu entfernen ist, ohne daß Nebenprodukte wie Ammoniumsulfat oder sogar Schadstoffe entstehen.

Ausführungsbeispiele für die erste und zweite Ausführungsform einer solchen Vorrichtung sind in den Figuren 1 bzw. 2 gezeigt.

FIG 3 zeigt eine Einrichtung zum Entfernen von Ammoniak aus Abwasser mit dem erfindungsgemäßen Verfahren.

FIG 4 zeigt eine Verbindung von zwei verschiedenen Katalysatoren, die für das erfindungsgemäße Verfahren einsetzbar ist.

Das in den Figuren Gezeigte wird im folgenden näher erläutert:

In Fig. 1 ist eine Vorrichtung zur Beseitigung von Ammoniak aus einem heißen Abgas A dargestellt. Nach Fig. 1 wird das z. B. von einem Kraftwerk gelieferte heiße Abgas A, das Sauerstoff  $O_2$  und gasförmiges, zu entfernendes Ammoniak  $NH_3$  enthält, über eine Zuleitung 1 dem Gaseintritt 2 eines Reaktors 4 zugeführt.

Dieser Reaktor 4 enthält einen Katalysator 6, der aus einer der vorgenannten Substanz-Kombinationen besteht. Insbesondere handelt es sich hierbei z. B. um einen Katalysator 6, der Titandioxid  $TiO_2$  und Chromoxid  $Cr_2O_3$  etwa im Verhältnis von 50 : 50 der Gewichtsprozent - bei Berücksichtigung eines Bindemittels - enthält. Der Katalysator 6 ist demnach so ausgebildet, daß er das Ammoniak  $NH_3$  unter Zuhilfenahme des Sauerstoffs  $O_2$  zu Stickstoff  $N_2$  und Wasser  $H_2O$  oxidiert. Am Austritt 8 des Reaktors 4 ist eine Ableitung 10 angeschlossen. Diese Ableitung 10 führt praktisch ammoniakfreies Abgas A, das neben Stickstoff  $N_2$  gegebenenfalls auch noch Sauerstoff  $O_2$  enthält. Falls nicht ein besonderer Wasser-Abscheider vorgesehen ist, ist im Abgas A auch Wasserdampf  $H_2O$  enthalten. Am Austritt 8 ist an der Ableitung 10 eine Sonde 12 vorgesehen, die zur  $NH_3$ -Kontrollmessung dient. Zur Aufrechterhaltung einer kontinuierlichen Strömung durch den Reaktor 4 ist in der Ableitung 10 ein Gebläse 14 vorgesehen. Dieses Gebläse 14 könnte stattdessen auch in der Zuleitung 1 angeordnet sein.

In Fig. 2 ist eine Vorrichtung zur Beseitigung von Ammoniak  $NH_3$  aus einem kalten Abgas A, das hier ebenfalls Sauerstoff  $O_2$  enthält, dargestellt. Im vorliegenden Fall wird das Abgas A über eine Zuleitung 21 dem Eintritt 22 eines Wärmetauschers 24 zugeführt. In der Durchlaufkammer dieses

Wärmetauschers 24 wird das Abgas A mit Hilfe der bei der Oxidation anfallenden Reaktionswärme auf eine Vorwärmtemperatur erwärmt, wie weiter unten deutlich wird. Vom Ausgang 26 des Wärmetauschers 24 wird das Abgas A über eine Zusatzheizung 27 dem Eintritt 28 eines Reaktors 30 zugeleitet. Dieser Reaktor 30 enthält wiederum einen der vorgenannten  $\text{NH}_3$ -Oxidationskatalysatoren, der hier mit 32 bezeichnet ist. Am Gasaustritt 34 des Reaktors 30 ist eine Ableitung 36 für das nunmehr ammoniakfreie Abgas A angeschlossen. Das Abgas enthält nunmehr lediglich Stickstoff  $\text{N}_2$  und gegebenenfalls auch noch Sauerstoff  $\text{O}_2$  und - falls kein Wasserabscheider vorhanden ist - auch Wasser  $\text{H}_2\text{O}$  in Dampfform. Es soll hier angemerkt werden, daß die Zusatzheizung 27 vorgesehen ist, um das in den Reaktor 30 eintretende Abgas A von der Vorwärmtemperatur auf die für eine optimale Oxidation des Ammoniaks erforderliche Temperatur zu bringen. Das in den Reaktor 30 eintretende Gasgemisch hat dabei vorzugsweise eine Temperatur im Bereich von 150 bis 300° C. Ersichtlich kann die Zusatzheizung 27 gegebenenfalls entfallen.

In der Abgasleitung 36 ist - analog zu Fig. 1 - ein Sensor 38 zur  $\text{NH}_3$ -Kontrollmessung angeordnet. Die Ableitung 36 ist weiterhin über ein Gebläse 40, das für eine ausreichende Strömungsgeschwindigkeit sorgt, mit der Vorwärmkammer des Wärmetauschers 24 verbunden. Das von Ammoniak  $\text{NH}_3$  gereinigte Abgas A erwärmt in der Vorwärmkammer des Wärmetauschers 24 das vom Eintritt 22 einströmende, noch ungereinigte Abgas A ( $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ). An den Ausgang der Vorwärmkammer des Wärmetauschers 24 ist eine Abgasleitung 42 angeschlossen, an der das abgekühlte, gereinigte Abgas A abgenommen werden kann. Dieses Abgas A ist bei richtiger Temperaturwahl im Reaktor 30 und bei Verwendung der vorgenannten  $\text{NH}_3$ -Oxidationskatalysatoren 32 praktisch vollkommen frei von Ammoniak und kann, sofern in ihm keine weiteren Schadstoffe enthalten sind, wegen des alleinigen Vorhandenseins der unschädlichen Reaktionsprodukte  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  in die Atmosphäre entlassen werden.

Eine Wasserzuleitung 101, in der ammoniakhaltiges Abwasser fließt, ist nach Fig. 3 mit einer Austauschkolonne 102 verbunden. Die Austauschkolonne 102 weist außerdem eine Wasserableitung 103, eine Gaszuleitung 104 und eine Gasableitung 105 auf. In der Austauschkolonne 102 wird Ammoniak vom Wasser in das Gas übergeführt. Durch die Wasserableitung 103 wird ammoniakfreies Abwasser abgegeben, während über die Gasableitung 105 ein ammoniakhaltiges Gasgemisch die Austauschkolonne 102 verläßt. Die Gasableitung 105 ist über einen Wärmetauscher 106 und einen Erhitzer 107 mit dem Eingang eines

Katalysators 108 verbunden.

Dem Katalysator 108 wird dabei ein erhitztes Gasgemisch zugeführt, das außer Ammoniak auch Sauerstoff, der aus der Luft stammt, enthält. Durch die im Katalysator 108 ablaufende chemische Reaktion werden Ammoniak und Sauerstoff in Stickstoff und Wasser umgewandelt. Der Ausgang des Katalysators 108 ist mit dem Wärmetauscher 106 verbunden. Im Wärmetauscher 106 steht das abgeleitete Gas thermisch mit dem dem Katalysator 108 zuzuleitenden Gas im Kontakt. Durch den Wärmeübergang wird das zuzuleitende Gas vorgewärmt, so daß die Leistung des Erhitzers 107 kurze Zeit nach dem Anfahren der Anlage nur noch klein zu sein braucht. Durch die exotherme Umsetzung von Ammoniak mit Sauerstoff kann bei genügend hohen Ammoniakkonzentrationen der Erhitzer 107 völlig abgeschaltet werden. Im Weg für das vom Katalysator 108 abgegebene Gas steht der Wärmetauscher 106 über ein Gebläse 109 mit der Gaszuleitung 104 der Austauschkolonne 102 in Verbindung. Dadurch ist ein nahezu geschlossener Gaskreislauf von der Austauschkolonne 102 über den Katalysator 108 zur Austauschkolonne 102 gegeben. Zur Kompensation des Sauerstoffverbrauches im Katalysator 108 ist von der Gaszuleitung 104 ausgehend eine Abgabelitung 114 angeordnet und eine Ansaugleitung 113 für Frischluft ist zwischen Wärmetauscher 106 und Gebläse 109 angebunden. Der durch die chemische Reaktion im Katalysator 108 sich bildende Wasserdampf stört dessen Betrieb nicht. Der Wasserdampf kondensiert erst nach Passieren des Wärmetauschers 106 und wird mit dem ammoniakfreien Abwasser über die Wasserableitung 103 abgeführt. Mit dem nahezu geschlossenen Kreislauf erzielt man einen hohen Wirkungsgrad für die Ammoniakentfernung im Katalysator 108. Der Katalysator 108 nach FIG 3 kann ein Mischoxid-Katalysator, bestehend aus Schwermetalloxiden oder ein Edelmetall-Katalysator sein. Beispielsweise sind ein Edelmetall-Katalysator 110 und ein Mischoxid-Katalysator 111 nach FIG 4 miteinander gekoppelt. Dabei sind der Edelmetall-Katalysator 110 und der Mischoxid-Katalysator 111 in Serie angeordnet und der Edelmetall-Katalysator 110 ist durch eine Bypassleitung 112 überbrückt. Die Bypassleitung 112 ist gegenüber dem Edelmetall-Katalysator 110 so dimensioniert, daß sie ca. 40 % des ankommenden Gases aufnimmt. Der Edelmetall-Katalysator 110 läßt aus Luftsauerstoff und Ammoniak neben Wasser zunächst Stickoxid entstehen. Bevor das Stickoxid in Stickstoff und Sauerstoff zerfällt, gelangt es zusammen mit dem über die Bypassleitung 112 herangeführten Gemisch aus sauerstoffhaltiger Luft und Ammoniak in den Mischoxid-Katalysator 111. Im Mischoxidkatalysator 111 wird die Umwandlung der zugeführten Gase durch das Vorhandensein

von Stickoxid ermöglicht. Am Ausgang des Mischoxid-Katalysators 111 wird Stickstoff und Wasser abgegeben.

### Ansprüche

1. Verfahren zum Entfernen von gasförmigem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aus einem Abgas (A), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abgas (A) mit dem gasförmigen Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und vorzugsweise zusammen mit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), insbesondere zusammen mit Luft, bei einer vorgegebenen Temperatur einem selektiven Katalysator (6, 32) zugeführt wird, der das Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) zu Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oxydiert, wobei der Katalysator (6, 32) ein Mischoxid-Katalysator ist, der Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle Vanadium (V), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Zirkon (Zr), Molybdän (Mo), Wolfram (W), Platin (Pt) und Rhodium (Rh) enthält, und daß vom Katalysator (6, 32) der Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und das Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) abgeleitet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Katalysator (6, 32) außer Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) auch bevorzugt Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) und/oder Manganoxid ( $\text{MnO}_2$ ) und/oder Kupferoxid ( $\text{CuO}$ ) enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anteil des Chromoxids ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), des Manganoxids ( $\text{MnO}_2$ ) oder des Kupferoxids ( $\text{CuO}$ ) höchstens 50 Gew. % des Mischoxid-Katalysators ausmacht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abgas (A) einschließlich Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) vor der Zuführung zum Katalysator (6, 32) auf eine Temperatur im Bereich von 150 bis 300° C gebracht wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Temperatur im Mischoxid-Katalysator (6, 32) höher ist als die Gaseintrittstemperatur.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Mischoxid-Katalysator an seinem Eingang Stickoxid zudosiert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Gemisch aus gasförmigem Ammoniak und Sauerstoff, insbesondere ein Gemisch aus gasförmigem Ammoniak und Luft, aufgeteilt wird, daß der erste Anteil des Gemisches einem Edelmetall-Katalysator (110) zugeführt wird, der Stickoxid abgibt, und daß der zweite Anteil des Gemisches zusammen mit dem im Edelmetall-Katalysator (110) gebildeten Stick-

xid als Gemisch einem Mischoxid-Katalysator (111) zugeführt wird, der dann Stickstoff und Wasser abgibt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der erste Anteil des Gemisches ungefähr 60 % der Gesamtgasmenge ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zum Entfernen von Ammoniak aus einer ammoniakhaltigen Flüssigkeit, wobei die ammoniakhaltige Flüssigkeit einer Stoffaustauschkolonne (102) zugeführt wird, der auch ein Gas oder ein Dampf zugeführt wird und von der eine ammoniakfreie Flüssigkeit und ein ammoniakhaltiges Gas abgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß das ammoniakhaltige Gas zusammen mit Sauerstoff, insbesondere zusammen mit Luft, mindestens einem Katalysator (108) zugeführt wird, der dann Stickstoff und Wasser abgibt.

10. Verfahren nach Anspruch 9 zum Entfernen von Ammoniak aus einer ammoniakhaltigen Flüssigkeit, **dadurch gekennzeichnet**, daß die ammoniakhaltige Flüssigkeit Abwasser eines Kraftwerkes ist, wobei das Abwasser Ammoniak aus zum Korrosionsschutz zugefügtem Hydrazin enthält.

11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abgas (A) mit Hilfe eines Gebläses (14) einem den Katalysator (6) enthaltenden Reaktor (4) zugeleitet ist, an dessen Austritt (8) eine Ableitung (10) für ammoniakfreies Abgas (A) vorgesehen ist (Fig. 1).

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abgas (A) über einen Wärmetauscher (24) und gegebenenfalls eine Zusatzheizung (27) mit Hilfe eines Gebläses (40) einem den Katalysator (32) enthaltenden Reaktor (30) zugeleitet ist, an dessen Austritt (34) eine Ableitung (36) für ammoniakfreies Abgas (A) vorgesehen ist, die über den Wärmetauscher (24) mit einer Abgasleitung (42) verbunden ist (Fig. 2).

13. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Edelmetall-Katalysator (110) und ein Mischoxid-Katalysator (111) in Serie angeordnet sind und daß der Edelmetall-Katalysator (110) durch eine Bypassleitung (112) überbrückt ist, die ungefähr 40 % des ankommenden Gases aufnimmt.

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 9 zum Entfernen von Ammoniak aus einer ammoniakhaltigen Flüssigkeit, insbesondere aus dem Abwasser eines Kraftwerkes, wobei eine Wasserzuleitung (101) für ammoniakhaltiges Abwasser mit einer Stoffaustauschkolonne (102) verbunden ist, die eine Gaszuleitung (104) aufweist und von der eine Wasserableitung (103) für ammoniakfreies Wasser und eine Gasableitung

(105) für ammoniakhaltiges Gas ausgehen, dadurch gekennzeichnet, daß in einem nahezu geschlossenen Kreislauf die Gasableitung (105) über den wärmeaufnehmenden Raum eines Wärmetauschers (106) und über einen Erhitzer (107) mit dem Eingang eines Katalysators (108) verbunden ist und daß der Ausgang des Katalysators (108) über den wärmeabgebenden Raum des Wärmetauschers (106) und über ein Gebläse (109) mit der Gaszuleitung (104) der Stoffaustauschkolonne (102) verbunden ist.

15. Selektiver Katalysator zum Oxydieren von in Abgas (A) enthaltenem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), vorzugsweise unter Mitwirkung von Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), zu Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dadurch gekennzeichnet, daß er ein Mischoxid-Katalysator ist, der Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle Vanadium (V), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Zirkon (Zr), Molybdän (Mo), Wolfram (W), Platin (Pt) und Rhodium (Rh) enthält.

16. Katalysator nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß er außer Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) auch bevorzugt Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) und/oder Manganoxid ( $\text{MnO}_2$ ) und/oder Kupferoxid ( $\text{CuO}$ ) enthält.

17. Katalysator nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil des Chromoxids ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), des Manganoxids ( $\text{MnO}_2$ ) oder des Kupferoxids ( $\text{CuO}$ ) höchstens 50 Gew. % des Mischoxid-Katalysators ausmacht.

18. Katalysator nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß er einen Nebenbestandteil wie Phosphor (P) oder Schwefel (S) enthält.

19. Katalysator nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß er ein Bindemittel enthält.

20. Katalysator nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß er in Form von Platten, Waben oder Pellets vorliegt.

21. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet,

a) daß Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) und mindestens ein Oxid der Übergangsmetalle, wie insbesondere Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Manganoxid ( $\text{MnO}_2$ ) und Kupferoxid ( $\text{CuO}$ ), gemahlen und innig miteinander zu einer Mischung gemischt werden,

b) daß diese Mischung anschließend gefiltert wird, wobei ein Filterkuchen zurückbleibt,

c) daß dem Filterkuchen ein Bindemittel beigegeben wird,

d) daß Filterkuchen und Bindemittel geknetet werden, wobei eine formbare Masse entsteht,

e) daß diese Masse sodann in eine vorgegebene Form gebracht wird, z. B. auf Platten aufgetragen, in Waben oder Pellets extrudiert wird,

f) daß die geformte Masse sodann einer Trocknungsbehandlung bei Temperaturen im Bereich von 100 bis 140° C unterzogen wird, und

g) daß schließlich die getrocknete, geformte Masse einer Glühbehandlung bei 500° C oder mehr ausgesetzt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß in einem der Schritte a) und c) auch ein Nebenbestandteil wie eine Phosphor- oder Schwefelverbindung beigegeben wird.



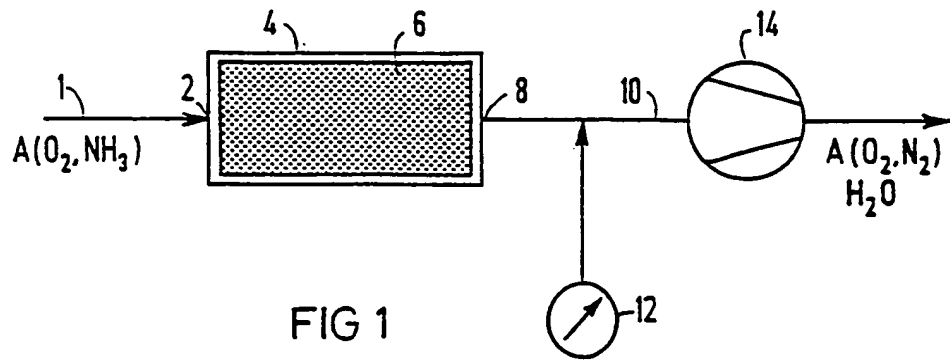


FIG 1

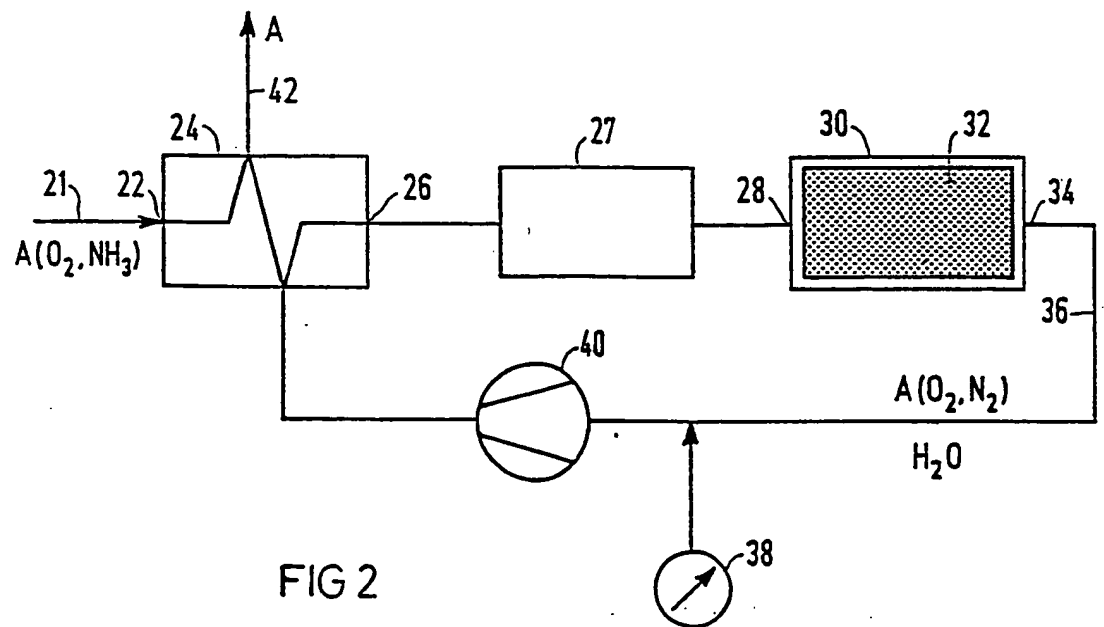


FIG 2

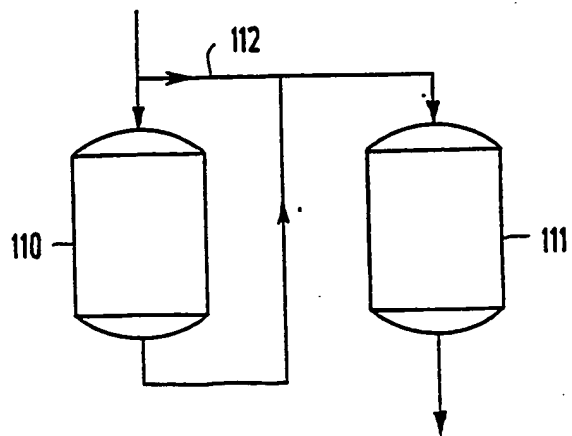
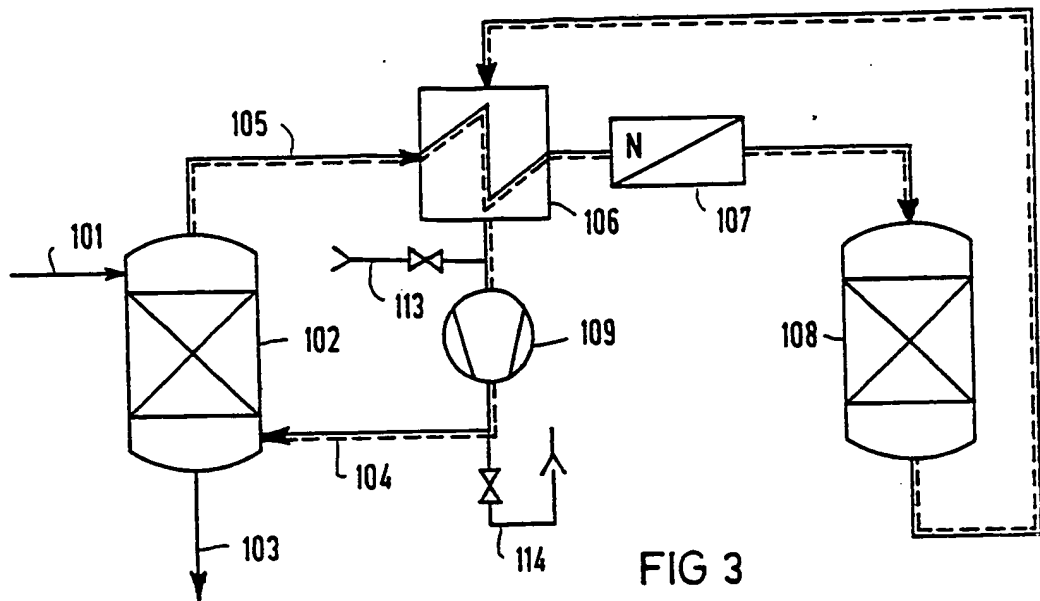


FIG 4



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
X	CHEMICAL ABSTRACTS, Band 89, Nr. 17, 14 August 1978, Seite 291, Zusammenfassung Nr. 64466b, Columbus, Ohio, US; & JP-A-78 10 363 (MITSUBISHI CHEMICAL INDUSTRIES CO., LTD) 15-07-1976 * Zusammenfassung *	1-4, 15-17	B 01 D 53/36 B 01 J 23/00 B 01 J 27/18
X	FR-A-2 327 814 (HITACHI) * Ansprüche *	1,2,15	
A	JAPANESE PATENT REPORT, Band 80, Nr. 42, Oktober 1980, Section J, "Chemical Engineering", Derwent Publications Ltd, London, GB; & JP-B-80 040 045 (KYUSHU SEKISUI KOG) 15-10-1980 * Zusammenfassung *	7	
A	JAPANESE PATENT REPORT, Band 82, Nr. 2, Januar 1982, Section J, "Chemical Engineering", Derwent Publications Ltd, London, GB; & JP-B-82 001 288 (STANDARD OIL CO.) 11-01-1982 * Zusammenfassung *	9	
A	US-A-4 179 407 (KIYOTAKA IIYAMA et al.)		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 18-08-1988	Prüfer BOGAERTS M.L.M.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b>			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	